

高压直挂式构网型储能系统解决新能源电站短路比的专题研究

季华强¹ 李鹏慧¹ 张昕昱²

1 北京京能清洁能源电力股份有限公司内蒙古分公司, 内蒙古呼和浩特, 010000;

2 国电电力山西新能源开发有限公司, 山西大同, 037000;

摘要: 随着新能源发电份额的不断增加, 电力电子设备的大规模接入使得电网短路比 (SCR) 降低, 引发了电压失稳和宽频振荡等问题, 成为限制新能源消纳的重要瓶颈。本文针对新能源电站短路比不够的问题, 着重研究高压直挂式构网型储能系统 (简称“高压直挂构网储能”) 的技术特点与应用价值, 从短路比的物理基础、高压直挂构网储能的技术原理、对短路比影响的机制以及工程验证等方面进行探讨。研究结果显示, 高压直接连接网络的储能系统, 凭借电压源的外部特性、高度超载处理能力以及快速响应的特性, 能够显著提高新能源发电站的短路比, 为高比例新能源电网的安全稳定运行提供重要支持。

关键词: 直接连接高压电网的储能装置; 新能源电站; 短路比 (SCR); 电网强度; 构网控制

High-voltage direct-hanging grid-type energy storage system solves new energy power stations

Ji Huaqiang¹, Li Penghui¹, Zhang Xinyu²

1. Beijing Jingneng Clean Energy Power Co., LTD., Inner Mongolia Branch, Hohhot, Inner Mongolia, 010000;

2. Guodian Power Shanxi New Energy Development Co., LTD., Shanxi, Datong City, 037000;

Abstract: The growing share of renewable energy generation has resulted in a greater incorporation of power electronic devices, consequently reducing the Short Circuit Ratio (SCR) of the electrical grid. This reduction has caused challenges, including voltage instability and wide-frequency oscillations, which have emerged as significant barriers to the integration of renewable energy. This document examines the technical features and practical benefits of the high-voltage direct-connected grid-forming energy storage system (referred to as "high-voltage direct-connected grid-forming energy storage") as a solution to the low SCR in renewable energy power facilities. The study thoroughly examines the physical fundamentals of SCR, the technical principles of high-voltage direct-connect grid-forming energy storage, the impact mechanism on SCR, and includes engineering validation. The findings indicate that high-voltage direct-connected grid-forming energy storage greatly enhances the Short Circuit Ratio (SCR) of new energy power stations. This improvement is due to its features such as voltage-source external characteristics, high overload capacity, and rapid response, which are crucial for maintaining the safety and stability of grids with a high percentage of new energy integration.

Keywords: High-voltage direct-connected energy storage system with grid-forming capability; Eco-friendly energy facility; Comprehending Short Circuit Ratio (SCR); Grid resilience; Grid-forming control

DOI: 10.69979/3041-0673.26.03.088

1 引言

1.1 研究背景与意义

在全球推动实现“碳达峰”和“碳中和”目标的背景下, 风能和太阳能等新能源发电的装机比例迅速增长。到2024年, 我国的新能源装机比例已经超过一半, 其中一些地区 (例如青海和新疆) 的新能源渗透率已经超过90%。然而, 由于新能源通过电力电子的变流器并入电网, 呈现出“低惯量、弱支撑”特点, 这使得电网

的短路比 (即系统短路容量与设备容量的比率) 显著下降。低短路比的电网容易导致电压不稳定、广泛频段的振荡以及新能源设备的脱网等问题, 像新疆的哈密和南澳等地区已经发生了多次由于短路比不足而引发的电网事故。

提高短路比是确保大规模接纳可再生能源的关键因素。传统的解决方案 (例如安装调相机或静态无功补偿设备) 通常面临高成本和响应速度慢的问题。高压直

挂构网型储能系统是一项创新性技术，结合了高压直挂的高效率和构网控制的强大支撑能力，成为解决短路比不足问题的重要技术方案。

1.2 研究现状

目前的研究涉及多重视角分析短路比的定义和计算方法，比如新能源多场站短路比（MRSCR），并探讨了传统储能（如跟网型）在提高短路比方面的有限影响^[1]。高压直挂构网储能作为一种新兴技术，仍需深入研究其对短路比的影响机制和进行工程验证。本文通过理论推导、模拟分析以及工程实例，全面展示其技术优越性与实践应用的价值。

2 新能源电站短路比的定义与挑战

2.1 短路比的物理本质与计算

短路比（SCR）是衡量电网强度的核心指标，定义为并网点的短路容量（SSC）与新能源场站额定容量（SR）之比：

$$SCR = \frac{S_{SC}}{S_R}$$

短路容量表示电力系统抵御电压波动的能力。SCR值越高，电网越稳定，新能源接入的稳定性也越好。在工程实践中，新能源场站的临界短路比（CSCR）通常需要达到不小于1.5，否则可能导致电压不稳定或出现振荡现象。

2.2 新能源高比例接入对短路比的影响

新能源通过电流源变流器并入电网，其本身无法提供故障电流支撑，导致并网点的短路容量减小。与此同时，多座新能源厂站集群接入系统时，其相互间的耦合作用进一步削弱了系统的等效短路比（MRSCR）。研究表明，当新能源的渗透率超过70%，局部电网的MRSCR可能会降到1.0以下，这对系统稳定性构成了严重威胁。

3 高压直挂式构网型储能系统的技术原理

3.1 高压直挂技术的核心优势

传统的储能系统使用“低压电池+升压变压器”结构，这种方法存在效率较低（大约为88%）、占用空间大、以及电池并联时会产生环流等缺点^[2]。高压直接连接技术采用功率单元串联方式（见图1），直接接入35kV及以上的高压电网，从而省去了升压变压器。这样一来，系统效率提高到了91%以上，同时响应速度可以达到10ms级别。此外，这种方法还能避免电池并联产生的环流，进而延长电池的使用寿命。

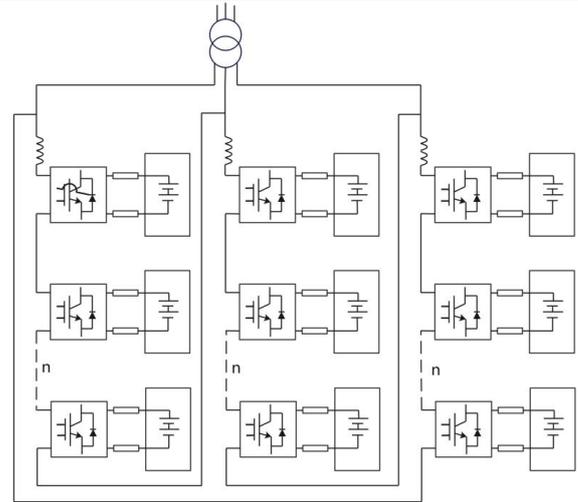


图1 高压直挂储能拓扑示意图

3.2 构网型控制的关键特性

构网型储能区别于传统跟网型储能（电流源），其变流器采用“虚拟同步发电机（VSG）”控制策略，模拟同步机的惯性与阻尼特性，具备以下核心能力：

电压源外部特性：可以自主设定电压的参考信号，独立支持并网点的电压和频率，无需依靠电网。

高过载能力：可在短时间内提供三倍于额定电流的输出（相比而言，传统跟网型仅提供1.5倍），从而提升故障时的短路电流支撑能力。

通过调节直流侧能量的释放来提供虚拟惯性和阻尼支持，这样可以降低频率波动。这一方法能够模拟惯性（J）和阻尼（D）的作用，从而有效地实现系统频率的稳定。

4 高压直挂构网储能对短路比的影响机制

4.1 理论推导：构网储能对短路容量的提升

当储能设备在电网中作为电压源运作时，可以将其输出特性视作是对一种同步发电机的戴维南等效模型的模拟。假设并网点原有短路容量为（SSC0），构网储能注入后，系统等效短路容量（SSC）为：

$$S_{SC} = S_{SC0} + S_{ES} \cdot k$$

其中，（SES）代表构网储能容量，而（k）是等效支撑系数，它与控制策略有关，通常取值在2到3之间。

4.2 仿真验证：弱电网下的短路比提升效果

以青海某新能源集群（MRSCR=1.2）为例，配置100MW高压直挂构网储能后，在稳定状态下，MRSCR上升到1.8，符合临界条件。

在出现故障（三相短路）时，构网储能系统可以输

出3倍额定电流,使短路容量提升150%。MRSCR的暂态峰值达到2.5,能够有效地控制电压下降,使其从0.5pu快速恢复到0.9pu,恢复时间减少一半。

5 工程案例与实践验证

5.1 青海海西宝库储能电站:全球最大容量高压直挂构网储能项目

该项目总容量224.5MW/889MWh,其中构网型储能占比48%(108MW/430MWh),接入海西电网(新能源渗透率95%)。2025年4月完成的人工短路试验验证了其性能^[4]:

在离网短路的情况下:当单个支路发生短路时,储能装置在10毫秒内迅速作出反应,输出电流达到其额定值的三倍,电压的恢复则需要少于200毫秒的时间。

并网短路情境:在全功率联网测试中,确保多机环流控制精度在1%以内,短路比从1.1增加到1.9,符合电网的安全标准。

5.2 锡林郭勒京能智汇防沙治沙与风光一体化项目:生态与电网稳定协同示范

作为“风电光伏+防沙治沙”综合项目的模范,2024年镶黄旗10万千瓦风电工程配套建设了一座30MW/60MWh的构网型高压直挂储能装置。该项目坐落在内蒙古锡林郭勒盟的重要荒漠化治理区,新能源渗透率达到85%。电网显示出“高比例新能源与较弱交流支撑”的特点,短路比为1.2,面临电压不稳定及风电脱网的风险。

项目采用高压直挂构网储能技术后,实现以下关键提升:

提升电网强度:利用网状控制的电压源特性,储能系统在稳定运行期间可主动支撑并网点电压,保持其偏差在±2%以内,短路比从1.2提高到1.7,符合新能源场站的最低短路比要求(≥1.5)。

故障处理能力:在风机出口进行三相短路模拟试验时,储能单元在15毫秒内输出额定电流的2.5倍,迅速抑制了电压下降(最低电压从0.45pu提升到0.6pu),成功避免了3台风机因低电压穿越失败而脱网。

生态协同效果显著:高压直挂技术减少了升压变压器的占地面积约40%,释放的土地用于植沙柳和柠条等植物,因而具有固沙作用。项目投运后,每年固沙面积可达200亩,完美实现了“储能稳固电网”与“治沙增绿”的双重目标。

5.3 技术经济性分析

相比传统的网络型储能系统,高压直挂构网储能系统的效率提高了4%到6%。以一个规模为150MW/600MWh的电站为例,在十年的周期中,这种技术能够节省大约2500万元的电费。同时,其优异的高短路比支撑能力能够降低调相机等设备的投资成本约30%,从而显著地提升了整体的经济效益^[3]。

6 结论与展望

高压直挂式构网型储能系统结合“高压直挂减少损耗”和“构网控制增强支撑”的优点,可以显著提高新能源电站的短路比,从而有效解决高比例新能源接入导致的弱电网稳定性问题。工程验证结果显示,该技术在稳定和故障情况下均显著提高了电网的强度,是现代电力系统的重要支撑手段。

未来需要对网络构建控制策略进行更深入的优化,比如多机协同和宽频振荡抑制等,同时完善标准系统,如短路比提升的量化指标和构网储能并网规范的制定。推动这些技术在新能源外送基地和微电网等应用领域的大规模使用,以支持实现“双碳”目标。

参考文献

- [1]郑如强,高保皓.构网型储能对新能源多场站短路比的影响分析[J].宁夏电力,2023(4):1-8.
- [2]成前,郝卓龙.高压直挂储能技术原理与工程应用[J].中国电力,2024(6):45-52.
- [3]国家能源局.Strategic Outline for Advancing Energy Storage Solutions (2023-2025) [Document]. 2023.
- [4]青海电网调度控制中心.海西宝库储能电站人工短路试验报告[R]. 2025.

作者简介:季华强,1993年12月,男,汉,山东,北京京能清洁能源电力股份有限公司内蒙古分公司,本科,中级工程师,新能源电力工程技术。

李鹏慧,1988年12月,男,汉,内蒙古,北京京能清洁能源电力股份有限公司内蒙古分公司,本科,中级工程师,新能源电力工程技术。

张昕昱,1990年5月,女,汉,山西,国电电力山西新能源开发有限公司,本科,中级工程师,新能源电力工程技术。